

**Lens system including a diffractive optical element**

Patent Number: ☐ US5949577  
Publication date: 1999-09-07  
Inventor(s): OGATA YASUJI (JP)  
Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO (JP)  
Requested Patent: ☐ JP10073760  
Application Number: US19970887461 19970702  
Priority Number(s): JP19960172373 19960702; JP19960277793 19961021  
IPC Classification: G02B5/30  
EC Classification: G02B27/00K2  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A single lens of high performance and high image quality has a diffractive optical element and, more particularly, an optical system best suited for use on optical instruments for which chromatic aberrations must be corrected, e.g., silver halide or electronic cameras. The optical system has one positive lens and a stop. At least one surface of the positive lens is constructed of a diffractive surface r1, and satisfies the condition 3

---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-73760

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月17日

(51) Int.Cl.*	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/00			G 0 2 B 13/00	
5/18			5/18	
9/02			9/02	
13/18			13/18	
27/42			27/42	
審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 16 頁)				

(21) 出願番号 特願平8-277793  
 (22) 出願日 平成8年(1996)10月21日  
 (31) 優先権主張番号 特願平8-172373  
 (32) 優先日 平8(1996)7月2日  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000000376  
 オリンパス光学工業株式会社  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号  
 (72) 発明者 小方康司  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン  
 パス光学工業株式会社内  
 (74) 代理人 弁理士 荻澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 回折型光学素子を有するレンズ系

(57) 【要約】

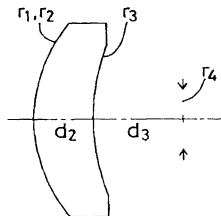
【課題】 回折型光学素子を用いて高仕様・高画質な単  
 レンズを得ること。特に、銀塩カメラや電子カメラ等の  
 色収差の補正が要求されるものに適した光学系を提供す  
 ることである。

【解決手段】 1枚の正レンズと絞りを含む光学系に  
 おいて、正レンズはその少なくとも1面が回折面  $r_1$  に  
 て構成されており、 $f_D$  は回折面の焦点距離、 $f$  はレン  
 ズ系全系の焦点距離とすると、

$$3 < f_D / f < 3.0$$

... (1)

を満たす。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1 枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも 1 面が回折面に構成されていることを特徴とする

$$3 < f_D / f < 3.0$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離である。

【請求項 3】 1 枚の正レンズと絞りを有する光学系に

$$3 < f_D / f < 3.0$$

$$0.075 < d / f < 0.15$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離、 $d$  は前記正レンズの厚みである。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、回折現象に基づくレンズ作用を持った回折面を有するような回折型光学素子（以下、*Diffraction Optical Element* と略して *DOE* と称する。）を有するレンズ系に関するものであり、特に、1 枚の正レンズにて構成されるような簡単な構成の銀塩カメラ、電子カメラ等のカメラ撮影光学系に利用されるレンズ系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、レンズ付きフィルムに代表されるような安価なカメラには、プラスチック製の単レンズが用いられている。しかし、よく知られているように、単レンズでは収差補正の自由度が少なく、球面収差を最小にする、あるいは、低次コマ収差をゼロにするようにベンディング形状を選択する程度の自由度しかない。特に、色収差の補正とベッツバル像面の補正は本質的に不可能である。したがって、これらの問題に対していくつかの工夫がなされており、第 1 には、フィルム面をシリンジカル形状とすることで、像面湾曲の影響を緩和している。第 2 には、 $F$  ナンバーを大きくして球面収差等の発生を少なくし、また、焦点深度が深くなるから色収差の影響を緩和している。さらに、焦点深度を深くすることで焦点合わせを不要とし、簡単操作と低価格の実現に役立っている。第 3 には、非球面を利用して色収差やベッツバル像面以外の収差を改善することである。

【0003】このような単レンズの先行例として、特開平 6-59188 号のものがある。この実施例 9 に従って具体的に説明する。実施例 9 は、焦点距離が  $30\text{mm}$

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda / d$$

ただし、 $\theta$  は入射角、 $\theta'$  は射出角、 $\lambda$  は光の波長、 $d$  は回折格子のピッチ、 $m$  は回折次数である。したがって、(a) 式に従ってリング状の回折格子のピッチを適切に構成してやれば、光を一点に集光させること、すな

$$r_j^2 = 2j\lambda f$$

一方、回折格子の構成法としては、明暗のリングにて構

成回折型光学素子を有するレンズ系。

【請求項 2】 下記条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\cdots (1)$$

において、該正レンズは少なくとも 1 面の回折面を有しており、下記条件式を満足することを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\cdots (1)$$

$$\cdots (2)$$

$m$ 、 $F$  ナンバーが 9.7 であり、両面共に非球面が用いられている。この先行例においては、レンズ厚みや絞り間隔に対するディストーション及びコマ収差の関連が述べられており、結論として、ディストーションを減らすためにレンズ厚みを小さくし、コマ収差補正のために絞り間隔を大としている。そして、両面非球面にてその他の収差を改善している。また、フィルム面は曲率半径が  $80\text{mm}$  ないし  $300\text{mm}$  のシリンジカル面となっている。しかし、特開平 6-59188 号の公報の図 13 の収差図から分かるように、球面収差は最大光線高で  $1.2\text{mm}$  程度、 $g$  線の軸上色収差は  $0.8\text{mm}$  程度、倍率色収差は最大画角で  $0.15\text{mm}$  程度発生しており、決して満足できるものではない。その他の先行例においても収差の状況は同様である。

【0004】もし、レンズの  $F$  ナンバーを小さくして明るくし、オートフォーカス機能を搭載してより高性能のカメラを目指しても、従来の単レンズでは実用に耐えない。あるいは、*CCD* 素子を受像面とするようないわゆる電子カメラにおいても同様である。

【0005】本発明では、後記するように、*DOE* を用いてより高仕様・高画質な単レンズを実現しようとするものである。

【0006】次に、回折型光学素子 (*DOE*) について説明する。*DOE* に関しては、「光学」第 2 巻第 635~642 頁及び第 730~737 頁等に詳しく解説されている。

【0007】従来のレンズが媒質の界面における屈折作用に基づいているのに対し、*DOE* は光の回折作用に基づいている。一般的に、図 1 で示すような回折格子へ光が入射したとき、回折作用にて射出される光は以下の関係式を満たす。

$$\cdots (a)$$

わち、レンズ作用を持たせることができる。このとき、 $j$  番目の格子のリング半径を  $r_j$ 、回折面の焦点距離を  $f$  とすると、1 次近似の領域にて以下の式を満たす。

$$\cdots (b)$$

成する振幅変調型、屈折率あるいは光路長を変える位相

変調型等が提案されている。振幅変調型の D O E では複数の回折次数光が発生するため、例えば入射光の光量と 1 次回折光の光量比（以下、回折効率と称す。）は最大でも 6% 程度である。あるいは、振幅変調型の D O E を漂白処理等を実施して改良したとしても、回折効率は最大で 34% 程度である。しかし、同じく位相変調型の D O

$$h = m \lambda / (n - 1)$$

ただし、 $h$  は山の高さ、 $n$  は基材の屈折率である。

(c) 式からも予測されるように、回折効率 100% は一つの波長に対してのみ達成される。また、キノフォーム形状を図 2 (b) のように階段近似したものはバイナリー光学素子と呼ばれたりするが、これはリソグラフィ的手法にて比較的容易に製作できる。バイナリー光学素子では、4 段階近似で 81%、8 段階近似で 95%、16 段階近似で 99% の回折効率が得られることが知られている。

【0011】D O E の設計法についてもいくつかの方法が知られているが、本発明ではウルトラ・ハイ・インデックス法を用いている。この手法については、"Mathematical equivalence between a holographic optical element and ultra-high index lens" J. Opt. Soc. Am. 69, 486-487、又は、"Using a conventional optical design program to design holographic optical element

$$n(\lambda) = 1 + [n(\lambda_0) - 1] \cdot \lambda / \lambda_0$$

ただし、 $\lambda$  は任意の波長、 $n(\lambda)$  はそのときの屈折率、 $\lambda_0$  は基準波長、 $n(\lambda_0)$  はそのときの屈折率である。

【0013】このような D O E を自然光の下で使用されるレンズ系に適用した例として、"Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats" Appl. Opt. 27, 2960-2971 が知られている。この先行例においては、近軸の色収差補正の原理に基づいて、アッペ数 -3.45 のレンズと従来のガラスレンズを組み合わせて色収差補正を行った場合の計算例が示されている。具体的には、物体側面は凸面であり、像側面は平面であるようなレンズにおいて、平面上に回折面を構成しており、このとき、軸上色収差のアクロマート化と残存する 2 次スペクトルについて示されている。しかし、倍率色収差やその他の収差に関しては触れておらず、具体的な設計データもない。

【0014】また、WO95/18393 号において、被写体側に凸な正メニスカスレンズと絞りを配置し、正レンズの像面側に回折面にて構成した例が示されている。この先行例では、屈折系と回折系の組み合わせにより色収差を補正し、レンズ部品を増やすことなく高性能を達成したものである。しかし、上記公報に示された実施例は、レンズ厚みが薄く成形性や組立性に劣る。さら

$$3 < f_0 / f < 30$$

ただし、 $f_0$  は回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の

E でも、その断面形状を図 2 (a) に示すような鋸歯形状で構成すれば、回折効率は 100% まで向上できる。このような D O E をキノフォームと称している。このとき、鋸歯状の山の高さは次式で与えられる。

$$[0010]$$

$$\dots (c)$$

s" Opt. Eng. 19, 649-653 等に示されている。すなわち、D O E は厚みが 0 で屈折率が非常に大きな屈折面と等価であることが知られている。

【0012】D O E をレンズとして用いるとき、2 個の重要な特徴がある。第 1 の特徴は、非球面作用を持つことであり、回折格子のピッチを適切に構成すれば光を完全に一点に集めることができる。このことは、非球面にて球面収差をゼロに補正することと同じ作用である。第 2 の特徴は、色の分散が非常に大きいことである。アッペ数で表現すれば -3.45 という値になり、従来の屈折作用の材料と比べると数 10 倍の色収差が反対方向に発生する。分散が大きいことは自然光の下で使用されるレンズ系に D O E を応用するとき、最大の問題となる。また、D O E の任意の波長における屈折率は、以下の (d) 式にて与えられる。

$$\dots (d)$$

に、レンズ全長がやや長いという欠点を有する。

【0015】また、本出願人は、特開平 6-324262 号において、望遠レンズへの適用例を示している。この公報では、従来の望遠レンズの前に平板状の D O E を配置し、色収差補正の改善を行っている。したがって、収差は非常に良くなっているが、部品点数を増やしており、D O E のメリットを十分に生かしているとは言いがたい。

$$[0016]$$

【発明が解決しようとする課題】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、D O E を用いて高仕様、高画質な単レンズを得ること、特に、鋸歯カメラや電子カメラ等の色収差の補正が要求されるものに適した光学系を提供することである。さらに、レンズ厚みを適度に厚くしてレンズ全長の短縮を図った光学系を提供することを目的としている。

$$[0017]$$

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の回折型光学素子を有するレンズ系は、1 枚の正レンズと絞りとを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも 1 面が回折面に構成されていることを特徴とするものである。

【0018】この場合、下記条件式を満たすことが望ましい。

$$\dots (1)$$

焦点距離である。

【0019】本発明のもう1つの回折型光学素子を有するレンズ系は、1枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは少なくとも1面の回折面を有して

$$3 < f_D / f < 3.0 \\ 0.075 < d / f < 0.15$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全体の焦点距離、 $d$  は前記正レンズの厚みである。

【0020】以下、本発明において上記構成をとする理由と作用について説明する。正単レンズの片方の面のみが曲率を有する場合、すなわち凸平形状とDOMEの組み合わせで収差補正を行うと、軸上色収差及び倍率色収差の補正はできるがコマ収差の補正が不十分であり、さらに非点収差の色収差が大きく発生することが分かった。したがって、凸平形状のレンズでは、例えばDOMEを用いたとしても高性能は得られない。そこで、まず基準波長における基本的な収差を補正するために、両面共に曲率を有するレンズであることが望ましい。この場合、絞りやレンズが接近し、また、レンズも非常に薄いならば、レンズのペンディングと収差の関係により面凸形状が望まishことが知られている。絞りがレンズへ接近する程度曲率や倍率色収差の発生が少なくなる。しかし、コマ収差の補正が不十分となってしまう好ましくない。そこで、コマ収差を適当に補正しつつ全面の性能をバランス良くするために、絞りとレンズを十分離して配置する

$$1/f = 1/f_1 + 1/f_2 \\ 1/f_1 \nu_1 + 1/f_2 \nu_2 = 0$$

これらの式より、各レンズの焦点距離は、

$$f_1 = (1 - \nu_2 / \nu_1) f \\ f_2 = -(\nu_1 / \nu_2 - 1) f$$

となることが知られている。(g)式及び(h)式より、組合せレンズの焦点距離とアッペ数を求められる。本発明の場合、回折面のアッペ数は-3、4.5と負の値を持っているから、色収差補正の実現は正パワー同士の組み合わせが必要となる。

【0025】従来の屈折系では、薄肉密着系として近似できており、(g)式及び(h)式に従って構成すれば、軸上色収差及び倍率色収差共に良好に補正される。

$$3 < f_D / f < 3.0$$

ただし、 $f_D$  は回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全体の焦点距離である。

$$f_D / f = 1 - \nu_R / \nu_D$$

となる。(i)式より、例えば $\nu_R = 3.0$ のとき、 $f_D / f = 9/7$ であり、 $\nu_R = 6.0$ のとき、 $f_D / f = 1.8$ 、4となる。ただし、すでに述べたように、 $\nu_D = -3.45$ である。(i)式は、1次領域での色収差補正式であるが、軸上色収差を補正過剰とするために、これより小さな値とすることがよく、そのための条件式が(1)式である。カメラ等の撮影光学系では、広い範囲

$$3 < f_D / f < 15$$

を満足することが望ましい。

おり、下記条件式を満足することを特徴とするものである。

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

必要がある。

【0021】このように、一般的には、レンズと絞りは離して配置されるし、レンズ自体も適度な厚みが必要とされるので、正レンズは絞りに対して凹面を向けたメニスカス形状であることが望ましい。このようにして基準波長におけるコマ収差等の発生を小さくできる。

【0022】そして、少なくとも1面を回折面に構成すれば、回折面の作用と屈折系の作用で色収差補正が可能となる。この場合、回折面のアッペ数は-3、4.5と負の値を持っているから、色収差補正の実現には正パワー同士の組み合わせが必要となる。色収差の補正に関して、以下に説明する。

【0023】一般に、第1レンズの焦点距離を $f_1$ 、アッペ数を $\nu_1$ とし、第2レンズの焦点距離を $f_2$ 、アッペ数を $\nu_2$ とすれば、薄肉密着系の合成焦点距離及び近軸色収差補正の式は以下になる。ただし、 $f$  は合成焦点距離である。

$$【0024】$$

$$\dots (e)$$

$$\dots (f)$$

$$\dots (g)$$

$$\dots (h)$$

しかし、本発明のように回折面を有する単レンズにおいては、回折面で発生する高次収差が大きく、軸上色収差を補正しても倍率色収差は補正不足となってしまう。そこで、倍率色収差を十分に補正するために、軸上色収差を補正過剰な状態にしている。そのための条件式が以下の(1)式である。(1)式を満たすことで、広い角域での高性能を達成している。

$$\dots (1)$$

【0026】ここで、回折面のアッペ数を $\nu_D$ 、屈折系のアッペ数を $\nu_R$ とすると、前記(g)式より、

$$\dots (i)$$

の波長域が用いられるため、g線とc線にて色収差補正が行われることが多い。(1)式の上限の3.0を越えると、正レンズの基材として使える材料が高価なものとなってしまうので、好ましくない。一方、(1)式の下限の3を越えると、基材として使える材料がない。

【0027】なお、特に、正レンズの絞りと反対側の面が回折面に構成される場合には、

$$\dots (1)'$$

【0028】また、基材のアッペ数が小さい程2次スベ

クトルの量は大きくなってしまふ。そこで、良好な色収差  $45 < \nu_D$

を満たすことが好ましい。ただし、 $\nu_D$  は回折光学素子の基材のアップ数である。(3) 式の下限の 45 を越えらると、2 次スペクトルの発生量が大きくなって好ましくない。

$$6 < f_D / f < 12$$

ところで、(g) 式及び (h) 式に従って色収差補正を行なったとしても、屈折系のみによる補正と、回折面を有する補正の場合で、2 次スペクトルの結果は全く異なる。これを図 3 を参照にして説明する。図 3 は、横軸は波長、縦軸は像点位置を示し、縦軸は軸上色収差の発生量に相当している。曲線 1 は従来の単レンズの場合であり、色収差は全く補正されていない。したがって、短波長側で像点は大きくマイナスである。曲線 2 は屈折系同士を組み合せによる色収差補正の場合であり、F 線と C 線の像点が一致するように色消しされている。このとき、2 次スペクトルの量は例えば g 線で見ると補正過剰になっている。一方、曲線 3 は回折面と屈折系の組み合わせによる色収差補正の様子であり、曲線 2 と同様に F 線と C 線で色消しがなされている。しかし、2 次スペクトルの曲線は明らかに逆向きとなっており、g 線は補正不足になっている。このような違いは、回折面が有する大きな負の分散にあるものである。

【0031】次に、回折面は絞り及び反対側の面に構成され、 $0.075 < d / f < 0.15$

ただし、f はレンズ系全系の焦点距離、d はレンズの厚みである。(2) 式の上限の 0.15 を越えらると、レンズの径が大きくなりすぎて好ましくない。(2) 式の下限の 0.075 を越えらると、レンズが薄くなり、正レンズの両面における光線高が接近してしまうため、収差補正にとって好ましくない。さらに、性能が悪化する。

【0033】また、リアア絞りの場合には、正レンズの両面が物体側から順に正パワー及び負パワーで構成され

$$-0.5 < (r_A - r_B) / (r_A + r_B) < 0.1 \quad \dots (4)$$

ただし、DOE の基材において、 $r_A$  は屈折力の強い面の曲率半径であり、 $r_B$  は屈折力の弱い面の曲率半径である。

【0035】(4) 式はレンズのペンディングに関する条件式であり、非点収差の色収差を改善するための条件式である。(1) 式を満足することで倍率色収差は補正される。したがって、各波長における像は、像面内（光軸に対して垂直方向）でのズレは小さいが、光軸方向でのズレが大きい場合がある。主光線で説明すると、各波長における主光線と像面との交点のズレが小さいが、最良像面の位置は波長毎に大きく異なっていることがある。これは非点収差の色収差が大きい状況であり、基準波長以外の像は大きくぼけてしまっており、高性能は期待できない。(4) 式はこのような非点収差の色収差を発生させないための条件式である。(4) 式の上限の一

差を達成するためには、

$$\dots (3)$$

【0029】また、良好な色収差を達成するためには、条件式 (1) 若しくは (1)' は以下の場合がより好ましい。

$$【0030】$$

$$\dots (1)''$$

れることがよい。一般的に、正レンズは絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズとなる。絞り側の面の曲率は小さく、反対側の面は曲率が大きい。その結果、軸上光線の面への入射角は、絞り側の面で大きく、反対側の面では小さい。倍率色収差の発生についてみれば、絞り側の面で倍率色収差の発生量が大きく、逆に反対側の面では小さい。したがって、正レンズにおいて、絞り側の面を回折面にて構成すると、倍率色収差を補正するための回折面のパワーをより強くしなければならず、軸上色収差の 2 次スペクトルが増大する。一方、絞り及び反対側の面を回折面にて構成すれば、より小さなパワーの回折面で倍率色収差の補正が可能なので、2 次スペクトルを小さくできる。すなわち、軸上色収差の 2 次スペクトルを小さくするために、正レンズの回折面は絞り及び反対側の面がよい。

【0032】また、正レンズの厚みは以下の条件式を満たすのがよい。

$$\dots (2)$$

でおり、いわゆるテレフォトタイプとなっているので、全長短縮の効果がある。条件式 (2) を満たすようにレンズの厚みを設定すれば、テレフォトの効果を得られやすく、一層の全長短縮が可能となる。

【0034】以上のように DOE を構成することで、軸上色収差や倍率色収差及び基準波長の収差をバランス良く補正できる。しかし、下記条件式を満たすことで、さらに高性能を達成することができる。

$0.1$  を越えらると、曲率半径が小さくなりすぎ、(4) 式の下限の  $-0.5$  を越えらると、逆に曲率半径が大きくなりすぎて好ましくない。

【0036】また、本発明のレンズではベッツパール和の補正はできない。回折面はベッツパール和へ寄与しないので、屈折系のみでベッツパール和が決まる。したがって、像面湾曲が大きく発生するのでフィルム面の湾曲化が望ましい。あるいは、高屈折率の無機ガラス材料を使用すれば、像面湾曲の発生を改善できる。この場合、ガラス表面に微細な回折格子（例えば、キノフォーム形状）を形成することはかなり困難である。そこで、ガラス表面に薄い樹脂層を形成し、その樹脂表面に回折格子を作製すればよい。このとき使用される樹脂材料としては、紫外線にて硬化するタイプ、熱にて硬化するタイプ等が生産性において好ましい。

【0037】また、ガラス基材では、その表面に直接あるいは樹脂層を形成してその表面に回折格子を形成する方法の何れにしても、コストアップは避けられない。そこで、基材自体も樹脂材料にて構成し、その表面に回折格子を成形して製造すれば、コスト低減が可能になり好ましい。樹脂材料としては、いわゆるアクリル系やポリカーボネイト系のものが一般的であるが、アッベ材料が45以上の材料を用いることが性能上好ましい。また、一般の樹脂材料は、温度や湿度の変化に伴って屈折率や面形状が変化してしまう。そこで、低吸湿な樹脂材料を用いれば、環境中の湿度変化に伴うレンズの変化を改善できるので望ましい。

$$Z = CY^2 \sqrt{[1 + \sqrt{1 - (1+K)C^2 Y^2}]} \\ + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \cdots (j)$$

ただし、Cは頂面における曲率（ $=1/r$ 、rは曲率半径）、Kは円錐係数、 $A_4$ 、 $A_6$ 、 $A_8$ 、 $A_{10}$ はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

【0040】また、回折面と厚みが0で接する面はD O Eの基材表面である。そして、実際の製造においては、回折面の非球面形状と基材表面の形状との差及び屈折率から位相変化を求め、この位相変化を回折格子のピッチに換算して基材表面上に回折格子を形成する。つまり、後述する各実施例において、最終的にレンズとしての作用を有するのは基材の面である。

【0041】回折面の具体的な形状としては、例えば図10に断面を示すようなものがある。図の(a)は、透明部21と不透明部22が交互に配列され、不透明部22の厚みはほぼ0であるが、振幅変調型と呼ばれる回折面である。図の(b)は、屈折率の異なる高屈折率部23と低屈折率部24を交互に配列して、屈折率差による位相差にて回折作用を持たせたものである。図の(c)は、矩形状の凹凸を交互に配列して厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである。これは2レベルのバイナリー素子でもある。図の(d)は、表面を鋸歯形状にしたものであり、キノフォームと呼ばれ、連続的な厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである(図2(a))。図の(e)と(f)は、キノフォームを4レベル及び8レベルで近似したバイナリー素子である(図2(b))。このように回折面の形状にはいくつかの形式があるが、本発明では、回折効率を高くして光量を有効に利用したいため、図10(d)のキノフォームや図10(e)や図10(f)等の4レベル以上のバイナリー素子を用いることが望ましい。

【0042】図4～図8にそれぞれ図4実施例1、2、3、4、7の光軸を含むレンズ断面図を示す。実施例5、6、8、9、10、11、12、13、14、15、16については、それぞれ図4、図5、図6、図7、図8、図9、図10、図11、図12、図13と同様である

$$f = 40.05mm, \quad F\#0 = 8.0, \quad f\# = 29.82mm, \quad \omega = 26.7^\circ$$

$$r_1 = 9.35985 \text{ (回折面)} \quad d_1 = 0 \quad n_{d1} = 1001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

#### 【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の回折型光学素子に有するレンズ系の実施例1～16について説明する。本発明によるレンズ系の回折面は、ウルトラ・ハイ・インデックス法を用いて設計しており、具体的には、回折面は厚みが0で波長がd線のときの屈折率が1001の回折型レンズとして表現されている。したがって、後記する数値データにおいても、以下に示すような通常の非球面式にて記載する。すなわち、光軸方向をZ軸、光軸と垂直な方向をY軸とすると、非球面は以下の式にて表せられる。

#### 【0039】

$$Z = CY^2 \sqrt{[1 + \sqrt{1 - (1+K)C^2 Y^2}]} \\ + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \cdots (j)$$

ので、図示は省く。

【0043】実施例1、4、5、10、12、14、16は、物体側より順に、正レンズと絞りにて構成され、物体側の面が回折面にて構成されている。実施例2、6、13も同様に、物体側より順に、正レンズと絞りにて構成され、像側の面が回折面にて構成されている。

【0044】実施例3、9は、物体側より順に、絞りと正レンズにて構成され、物体側の面が回折面にて構成されている。実施例7、8、11、15も同様に、物体側より順に、絞りと正レンズにて構成され、像側の面が回折面にて構成されている。

【0045】実施例4は、ガラス基材上に薄い樹脂層を形成し、その表面にキノフォーム形状を形成している。実施例1、2、5、8、9、13、14、15、16は、いわゆるアクリル樹脂の基材上にキノフォーム形状を形成しており、実施例6は、いわゆるポリカーボネート樹脂の基材上にキノフォーム形状を形成している。実施例10、11、12は、低吸湿なポリオレフィン系の樹脂の基材上にキノフォーム形状を形成している。実施例3、7は、ガラスの基材上にキノフォーム形状を形成している。

【0046】回折面の形状は、実施例5、16は球面であるが、他の実施例においては非球面形状である。基材の回折面については、実施例1の像側の面、実施例2の物体側の面、実施例8の物体側の面が非球面形状である。

【0047】以下に、上記実施例1～16の数値データを示す。各データ中、fは焦点距離、F#0はFナンバ一、f#はバックフォーカス、ωは半角、 $r_1$ 、 $r_2$ …は各レンズ面の曲率半径、 $d_1$ 、 $d_2$ …は各レンズ面間の間隔、 $n_{d1}$ 、 $n_{d2}$ …は各レンズのd線の屈折率、 $\nu_{d1}$ 、 $\nu_{d2}$ …はd線のアッベ数であり、また、非球面形状は前記(j)式にて表される。

#### 【0048】実施例1

$$\begin{aligned}
 r_2 &= 9.36003 & d_2 &= 3.5 & n_{d2} &= 1.49241 & \nu_{d2} &= 57.66 \\
 r_3 &= 14.457 \quad (\text{非球面}) & d_3 &= 5.1 \\
 r_4 &= \infty \quad (\text{絞り})
 \end{aligned}$$

非球面係数

第 1 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.7289 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 2.1788 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -8.8514 \times 10^{-11}$$

$$A_{10} = 1.2680 \times 10^{-12}$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_4 = 9.2217 \times 10^{-5}$$

$$A_6 = -1.7654 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = -1.6359 \times 10^{-7}$$

$$A_{10} = 8.3080 \times 10^{-9}$$

## 【0049】実施例 2

$$\begin{aligned}
 f &= 50.01\text{mm}, & F\#0 &= 8.0, & f_B &= 35.53\text{mm}, & \omega &= 22.3^\circ \\
 r_1 &= 12.421 \quad (\text{非球面}) & d_1 &= 5.7 & n_{d1} &= 1.49241 & \nu_{d1} &= 57.66 \\
 r_2 &= 18.70665 & d_2 &= 0 & n_{d2} &= 1.001 & \nu_{d2} &= -3.45 \\
 r_3 &= 18.70776 \quad (\text{回折面}) & d_3 &= 6.9 \\
 r_4 &= \infty \quad (\text{絞り})
 \end{aligned}$$

非球面係数

第 1 面

$$K = -0.5953$$

$$A_4 = 4.0664 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 1.6165 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = -2.5003 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 1.8218 \times 10^{-10}$$

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -2.3878 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 3.2489 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -1.3129 \times 10^{-10}$$

$$A_{10} = 1.9321 \times 10^{-12}$$

## 【0050】実施例 3

$$\begin{aligned}
 f &= 28.00\text{mm}, & F\#0 &= 10.0, & f_B &= 29.10\text{mm}, & \omega &= 41.0^\circ \\
 r_1 &= \infty \quad (\text{絞り}) & d_1 &= 5.0 \\
 r_2 &= -19.60472 \quad (\text{回折面}) & d_2 &= 0 & n_{d1} &= 1.001 & \nu_{d1} &= -3.45 \\
 r_3 &= -19.60302 & d_3 &= 2.0 & n_{d2} &= 1.77250 & \nu_{d2} &= 49.60 \\
 r_4 &= -11.358
 \end{aligned}$$

非球面係数

第 2 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -4.2194 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 4.0969 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -1.8442 \times 10^{-10}$$

$$A_{10} = 3.2197 \times 10^{-12}$$

## 【0051】実施例 4

$$f = 35.08\text{mm}, \quad F\#0 = 5.6, \quad f_B = 24.69\text{mm}, \quad \omega = 29.2^\circ$$

$r_1 = 10.53841$  (回折面)  $d_1 = 0$   $n_{d1} = 1001$   $\nu_{d1} = -3.45$   
 $r_2 = 10.53879$   $d_2 = 0.1$   $n_{d2} = 1.52288$   $\nu_{d2} = 52.50$   
 $r_3 = 10.53879$   $d_3 = 2.7$   $n_{d3} = 1.72916$   $\nu_{d3} = 54.68$   
 $r_4 = 14.624$   $d_4 = 6.3$

$r_5 = \infty$  (絞リ)

非球面係数

第 1 面

$K = 0$

$A_4 = -2.3481 \times 10^{-8}$

$A_6 = 5.9052 \times 10^{-10}$

$A_8 = -1.0936 \times 10^{-11}$

$A_{10} = 5.9429 \times 10^{-14}$

#### 【0052】実施例 5

$f = 35.09\text{mm}$ ,  $FNO = 10.0$ ,  $f_B = 27.39\text{mm}$ ,  $\omega = 29.4^\circ$

$r_1 = 7.73666$  (回折面)  $d_1 = 0$   $n_{d1} = 1001$   $\nu_{d1} = -3.45$   
 $r_2 = 7.73685$   $d_2 = 2.8$   $n_{d2} = 1.49241$   $\nu_{d2} = 57.66$   
 $r_3 = 11.239$   $d_3 = 3.3$   
 $r_4 = \infty$  (絞リ)

#### 【0053】実施例 6

$f = 34.99\text{mm}$ ,  $FNO = 8.0$ ,  $f_B = 26.70\text{mm}$ ,  $\omega = 29.7^\circ$

$r_1 = 8.635$   $d_1 = 2.2$   $n_{d1} = 1.58423$   $\nu_{d1} = 30.49$   
 $r_2 = 11.63195$   $d_2 = 0$   $n_{d2} = 1001$   $\nu_{d2} = -3.45$   
 $r_3 = 11.63291$  (回折面)  $d_3 = 5.0$   
 $r_4 = \infty$  (絞リ)

非球面係数

第 3 面

$K = 0$

$A_4 = 6.2514 \times 10^{-8}$

$A_6 = -4.0455 \times 10^{-9}$

$A_8 = 1.6008 \times 10^{-10}$

$A_{10} = -2.3132 \times 10^{-12}$

#### 【0054】実施例 7

$f = 35.02\text{mm}$ ,  $FNO = 10.0$ ,  $f_B = 36.70\text{mm}$ ,  $\omega = 33.4^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞リ)  $d_1 = 5.3$   
 $r_2 = -19.476$   $d_2 = 2.1$   $n_{d1} = 1.80518$   $\nu_{d1} = 25.43$   
 $r_3 = -13.13493$   $d_3 = 0$   $n_{d2} = 1001$   $\nu_{d2} = -3.45$   
 $r_4 = -13.13400$  (回折面)

非球面係数

第 4 面

$K = 0$

$A_4 = 2.8820 \times 10^{-8}$

$A_6 = -2.4872 \times 10^{-9}$

$A_8 = 9.0522 \times 10^{-11}$

$A_{10} = -1.2789 \times 10^{-12}$

#### 【0055】実施例 8

$f = 28.13\text{mm}$ ,  $FNO = 10.0$ ,  $f_B = 29.95\text{mm}$ ,  $\omega = 40.9^\circ$

$r_1 = \infty$  (絞リ)  $d_1 = 2.1$   
 $r_2 = -17.405$  (非球面)  $d_2 = 3.4$   $n_{d1} = 1.49241$   $\nu_{d1} = 57.66$   
 $r_3 = -8.78033$   $d_3 = 0$   $n_{d2} = 1001$   $\nu_{d2} = -3.45$   
 $r_4 = -8.78003$  (回折面)

## 非球面係数

## 第 2 面

$$K = -3.7483$$

$$A_4 = -1.1079 \times 10^{-6}$$

$$A_6 = -4.3796 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 1.0864 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = -8.6209 \times 10^{-7}$$

## 第 4 面

$$K = 0$$

$$A_4 = 1.0720 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = -1.7234 \times 10^{-8}$$

$$A_8 = 1.1880 \times 10^{-9}$$

$$A_{10} = -3.1276 \times 10^{-11}$$

## 【0056】実施例 9

$$f = 35.01\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 36.36\text{mm}, \quad \omega = 33.6^\circ$$

$$r_1 = \infty \text{ (絞リ)} \quad d_1 = 5.0$$

$$r_2 = -27.31349 \text{ (回折面)} \quad d_2 = 0 \quad n_{d1} = 1.001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

$$r_3 = -27.31115 \quad d_3 = 3.7 \quad n_{d2} = 1.51633 \quad \nu_{d2} = 64.15$$

$$r_4 = -12.095$$

## 非球面係数

## 第 2 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -4.7099 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 5.4520 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -2.7932 \times 10^{-10}$$

$$A_{10} = 5.1518 \times 10^{-12}$$

## 【0057】実施例 10

$$f = 34.91\text{mm}, \quad F\#0 = 8.0, \quad f_B = 26.42\text{mm}, \quad \omega = 29.6^\circ$$

$$r_1 = 8.46962 \text{ (回折面)} \quad d_1 = 0 \quad n_{d1} = 1.001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

$$r_2 = 8.46986 \quad d_2 = 2.8 \quad n_{d2} = 1.52542 \quad \nu_{d2} = 55.78$$

$$r_3 = 12.587 \quad d_3 = 4.3$$

$$r_4 = \infty \text{ (絞リ)}$$

## 非球面係数

## 第 1 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -3.7712 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 1.9069 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -6.0866 \times 10^{-11}$$

$$A_{10} = 6.6391 \times 10^{-13}$$

## 【0058】実施例 11

$$f = 34.99\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 35.80\text{mm}, \quad \omega = 34.0^\circ$$

$$r_1 = \infty \text{ (絞リ)} \quad d_1 = 6.4$$

$$r_2 = -67.100 \quad d_2 = 4.5 \quad n_{d1} = 1.52542 \quad \nu_{d1} = 55.78$$

$$r_3 = -15.88033 \quad d_3 = 0 \quad n_{d2} = 1.001 \quad \nu_{d2} = -3.45$$

$$r_4 = -15.87970 \text{ (回折面)}$$

## 非球面係数

## 第 4 面

$$K = 0$$

$$A_4 = 9.3943 \times 10^{-9}$$

$$A_6 = -1.6509 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = 2.2255 \times 10^{-12}$$

$$A_{10} = -1.2518 \times 10^{-14}$$

## 【0059】実施例 12

$$f = 35.05\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 26.38\text{mm}, \quad \omega = 29.5^\circ$$

$$r_1 = 7.52470 \quad (\text{凹折面}) \quad d_1 = 0 \quad n_{d1} = 1.001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

$$r_2 = 7.52486 \quad d_2 = 2.8 \quad n_{d2} = 1.52542 \quad \nu_{d2} = -55.78$$

$$r_3 = 10.320 \quad d_3 = 4.0$$

$$r_4 = \infty \quad (\text{絞リ})$$

非球面係数

第 1 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -3.2062 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 2.4717 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = -9.9425 \times 10^{-11}$$

$$A_{10} = 1.3675 \times 10^{-12}$$

## 【0060】実施例 13

$$f = 35.04\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 26.71\text{mm}, \quad \omega = 29.5^\circ$$

$$r_1 = 7.922 \quad d_1 = 2.9 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad \nu_{d1} = 57.66$$

$$r_2 = 11.56682 \quad d_2 = 0 \quad n_{d2} = 1.001 \quad \nu_{d2} = -3.45$$

$$r_3 = 11.56740 \quad (\text{凹折面}) \quad d_3 = 4.1$$

$$r_4 = \infty \quad (\text{絞リ})$$

非球面係数

第 3 面

$$K = 0$$

$$A_4 = 6.4050 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = -4.9665 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = 2.1745 \times 10^{-10}$$

$$A_{10} = -2.5989 \times 10^{-12}$$

## 【0061】実施例 14

$$f = 44.99\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 33.50\text{mm}, \quad \omega = 24.5^\circ$$

$$r_1 = 10.34363 \quad (\text{凹折面}) \quad d_1 = 0 \quad n_{d1} = 1.001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

$$r_2 = 10.34385 \quad d_2 = 3.6 \quad n_{d2} = 1.49241 \quad \nu_{d2} = 57.66$$

$$r_3 = 15.799 \quad d_3 = 6.1$$

$$r_4 = \infty \quad (\text{絞リ})$$

非球面係数

第 1 面

$$K = 0$$

$$A_4 = -1.5807 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = 8.4078 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = -2.6139 \times 10^{-11}$$

$$A_{10} = 2.7852 \times 10^{-13}$$

## 【0062】実施例 15

$$f = 44.95\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 47.33\text{mm}, \quad \omega = 26.7^\circ$$

$$r_1 = \infty \quad (\text{絞リ}) \quad d_1 = 5.3$$

$$r_2 = -37.350 \quad d_2 = 6.0 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad \nu_{d1} = 57.66$$

$$r_3 = -15.49698 \quad d_3 = 0 \quad n_{d2} = 1.001 \quad \nu_{d2} = -3.45$$

$$r_4 = -15.49653 \text{ (回折面)}$$

非球面係数

第4面

$$K = 0$$

$$A_4 = 1.5193 \times 10^{-8}$$

$$A_6 = -9.3462 \times 10^{-10}$$

$$A_8 = 2.2678 \times 10^{-11}$$

$$A_{10} = -1.8027 \times 10^{-13}$$

【0063】実施例16

$$f = 34.97\text{mm}, \quad F\#0 = 10.0, \quad f_B = 26.87\text{mm}, \quad \omega = 29.4^\circ$$

$$r_1 = 7.73738 \text{ (回折面)} \quad d_1 = 0 \quad n_{d1} = 1.001 \quad \nu_{d1} = -3.45$$

$$r_2 = 7.73753 \quad d_2 = 3.2 \quad n_{d2} = 1.49241 \quad \nu_{d2} = 57.66$$

$$r_3 = 11.253 \quad d_3 = 3.14$$

$$r_4 = \infty \text{ (絞り)}$$

【0064】上記実施例1の無限遠物点に対する球面収差、非点収差、歪曲収差、倍率色収差、横収差を表す収差図を図9に示す。

【0065】以上の各実施例の  $f$ 、 $f_D$ 、 $f_D / f = (1)$ 、 $d$ 、 $d / f = (2)$ 、 $r_A$ 、 $r_B$ 、 $(r_A - r_B) / (r_A + r_B) = (4)$  の値を下記の表に示す。

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5
f	40.05	50.01	28	35.08	35.09
f <sub>a</sub>	486.7138	315.2788	226.0657	292.2687	315.0388
(1)	12.15	6.30	8.07	8.33	8.98
d	3.5	5.7	2	2.7	2.8
(2)	0.087	0.114	0.071	0.077	0.080
r <sub>A</sub>	9.36003	12.421	-11.358	10.53879	7.73685
r <sub>B</sub>	14.459	18.70665	-19.60302	14.624	11.239
(4)	-0.21	-0.20	-0.27	-0.16	-0.18

	実施例 6	実施例 7	実施例 8	実施例 9	実施例 10
f	34.99	35.02	28.13	35.01	34.91
f <sub>a</sub>	140.9515	185.4991	256.9719	318.7875	298.9021
(1)	4.03	5.30	9.14	9.11	8.56
d	2.2	2.1	3.4	3.7	2.8
(2)	0.063	0.060	0.121	0.106	0.080
r <sub>A</sub>	8.635	-13.13993	-8.78033	-12.095	8.46986
r <sub>B</sub>	11.63195	-19.476	-17.405	-27.31115	12.587
(4)	-0.15	-0.19	-0.33	-0.39	-0.20

	実施例 11	実施例 12	実施例 13	実施例 14	実施例 15
f	34.99	35.05	35.04	44.99	44.95
f <sub>a</sub>	400.2856	354.005	230.5632	486.3419	533.5565

(1)	11.44	10.1	6.58	10.81	11.87
d	4.5	2.8	2.9	3.6	6
(2)	0.129	0.080	0.083	0.080	0.133
$r_A$	-15.8803	7.52486	7.922	10.34385	-15.49698
$r_B$	-67.1	10.32	11.56682	15.799	-37.35
(4)	-0.62	-0.16	-0.19	-0.21	-0.41

	実施例 16
f	34.97
$f_B$	399.0077
(1)	11.41
d	3.2
(2)	0.092
$r_A$	7.73753
$r_B$	11.253
(4)	-0.19

【0066】以上説明した本発明の回折型光学素子を有するレンズ系は、例えば次のように構成することができる。

〔1〕 1枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも

$$3 < f_D / f < 30$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離である。

【0068】〔3〕 前記正レンズは絞りと反対側の面

$$3 < f_D / f < 15$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離である。

【0069】〔4〕 1枚の正レンズと絞りを有する光

$$3 < f_D / f < 30$$

$$0.075 < d / f < 0.15$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全系の焦点距離、 $d$  は前記正レンズの厚みである。

【0070】〔5〕 前記正レンズは前記絞りに対して凹面を向けたメニスカスレンズであることを特徴とする

1面が回折面に構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

【0067】〔2〕 下記条件式を満たすことを特徴とする上記〔1〕記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (1)$$

が回折面に構成され、下記の条件式を満たすことを特徴とする上記〔1〕記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (1)'$$

学系において、該正レンズは少なくとも1面の回折面を有しており、下記条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

上記〔1〕から〔4〕の何れか1項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

【0071】〔6〕 前記正レンズは低吸湿な樹脂材料にて構成されていることを特徴とする上記〔1〕から

〔4〕の何れか1項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0072〕〔7〕 前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に薄い樹脂層が形成されており、その樹脂面上に回折面が形成されていることを特徴とする上記〔1〕から〔4〕の何れか1項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0073〕〔8〕 前記正レンズはガラス材料にて構成され、その表面に直接回折面が形成されていることを特徴とする上記〔1〕から〔3〕の何れか1項記載の回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0074〕〔9〕 1枚の正レンズと絞りとを有する光  $3 < f_D / f < 3.0$

ただし、 $f_D$  は回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全体の焦点距離である。

〔0077〕〔12〕 上記〔1〕から〔11〕の何れ  $4.5 < \nu_D$

ただし、 $\nu_D$  は回折光学素子の基材のアップ数である。

〔0078〕〔13〕 上記〔1〕から〔12〕の何れ  $-0.5 < (r_A - r_B) / (r_A + r_B) < 0.1$

ただし、回折型光学素子の基材において、 $r_A$  は屈折力の強い面の曲率半径であり、 $r_B$  は屈折力の弱い面の曲率半径である。

〔0079〕〔14〕 上記〔1〕から〔12〕の何れか1項において、物体側から順に、正レンズと絞りにて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0080〕〔15〕 上記〔1〕から〔12〕の何れか1項において、物体側から順に、絞りと正レンズにて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0081〕〔16〕 上記〔1〕から〔12〕の何れか1項において、前記回折面は軸上色収差を補正過剰な状態にするように構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0082〕〔17〕 上記〔1〕において、レンズと絞りは十分に離れていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$3 < f_D / f < 1.5$$

$$0.075 < d / f < 0.15$$

ただし、 $f_D$  は前記回折面の焦点距離、 $f$  はレンズ系全体の焦点距離、 $d$  は前記正レンズの厚みである。

〔0087〕

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のレンズ系は、単レンズではなく、回折面を適切に配置することで、従来の屈折レンズでは実現不可能な高性能を達成できた。その結果、例えば望遠カメラあるいは電子カメラ等の白色光下で用いられるカメラを高仕様なものとすることができる。

【図面の簡単な説明】

光学系において、該正レンズは絞りに対し凹面を向けたメニスカスレンズであり、その少なくとも1面が回折面にて構成されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0075〕〔10〕 1枚の正レンズと絞りを有する光学系において、該正レンズは両面共に曲率を有し、その少なくとも1面が回折面にて構成されており、カメラ撮影用であることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0076〕〔11〕 上記〔1〕、〔9〕又は〔10〕において、回折型光学素子は以下条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (1)$$

か1項において、回折型光学素子は以下の条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (3)$$

か1項において、回折型光学素子は下記条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (4)$$

〔0083〕〔18〕 上記〔1〕において、レンズと絞りは、コマ収差を適当に補正しつつ全画面の性能をバランス良く得られる程度に十分に離れていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0084〕〔19〕 上記〔1〕において、レンズ面において、軸上光線と最大画角の軸外光線とが異なる光線高となるように絞りを配置していることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0085〕〔20〕 上記〔1〕において、絞りと反対側のレンズ面において、軸上の光束と最大画角の軸外の光束が分離するような位置に絞りが配置されていることを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

〔0086〕〔21〕 物体側から順に、1枚の正レンズと絞りにて構成される光学系において、該正レンズは少なくとも1面の回折面を有しており、下記条件式を満たすことを特徴とする回折型光学素子を有するレンズ系。

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

【図1】回折格子の回折作用を説明するための図である。

【図2】位相変調型回折型光学素子の断面形状を示す図である。

【図3】色収差の補正に関して説明するための図である。

【図4】実施例1のレンズ系の断面図である。

【図5】実施例2のレンズ系の断面図である。

【図6】実施例3のレンズ系の断面図である。

【図7】実施例4のレンズ系の断面図である。

【図8】実施例7のレンズ系の断面図である。

【図9】実施例1の収差図である。

【図10】本発明において用いる回折面の具体的な形状を例示する断面図である。

【符号の説明】

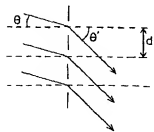
21…透明部

22…不透明部

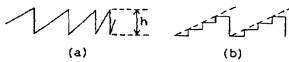
23…高屈折率部

24…低屈折率部

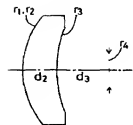
【図1】



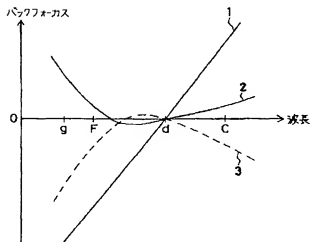
【図2】



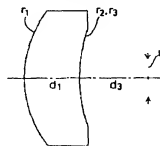
【図4】



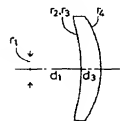
【図3】



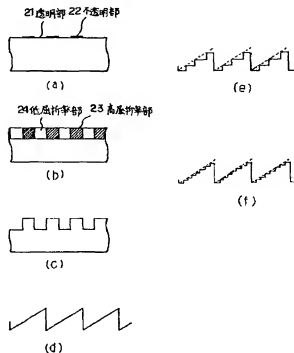
【図5】



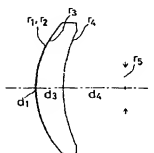
【図6】



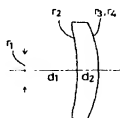
【図10】



【図7】



【図8】



【図9】

